
ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ

УДК 621.74.047

**А. Н. Смирнов, А. П. Верзилов, С. В. Куберский*,
Д. И. Гойда**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев
*Донбасский государственный технический университет, Лисичанск

ВЛИЯНИЕ ВДУВАНИЯ АРГОНА В ЖИДКУЮ ВАННУ КРИСТАЛЛИЗАТОРА ЧЕРЕЗ СТОПОР-МОНОБЛОК НА ЗАРАСТАНИЕ ПОГРУЖНОГО СТАКАНА

Рассмотрено влияние образования отложений и уменьшения сечений выходных отверстий погружного стакана на характер циркуляционных потоков в жидкой ванне кристаллизатора и ход процесса непрерывной разливки. Показано, что вдувание аргона в кристаллизатор слябовой МНЛЗ через стопор-моноблок с расходом 5-8 л/мин позволяет уменьшить интенсивность вторичного окисления и уменьшить вероятность зарастания внутренней полости погружного стакана различного рода отложениями.

Ключевые слова: непрерывная разливка, сляб, погружной стакан, стопор-моноблок, продувка, аргон, отложения, циркуляционные потоки, удельный расход газа.

Розглянуто вплив утворення відкладень і зменшення перерізу вихідних отворів заглибного стакану на характер циркуляційних потоків у рідкій ванні кристалізатора і хід процесу безперервного розливання. Показано, що вдування аргону в кристалізатор слябової МБЛЗ через стопор-моноблок з витратою 5-8 л/хв дозволяє зменшити інтенсивність вторинного окислення і зменшити ймовірність заростання внутрішньої порожнини занурювального стакану різного роду відкладеннями.

Ключові слова: безперервне розливання, сляб, занурювальний стакан, стопор-моноблок, продування, аргон, відкладення, циркуляційні потоки, питома витрата газу.

The influence of the formation of deposits and the reduction of the cross sections of the outlet openings of a submerged nozzle on the character of the circulation flows in the molten bath of the crystallizer and the process of continuous casting are considered. It is shown that the injection of argon into the crystallizer of slab CCM through the stop-monoblock at a flow rate of 5-8 l/min makes it possible to reduce the intensity of secondary oxidation and reduce the probability of overgrowth of the internal cavity of the immersion cup by various deposits.

Key words: continuous casting, slab, immersion nozzle, stop-monoblock, purging, argon, deposits, circulation flows, specific gas consumption.

Образование отложений в канале и выпускных отверстиях погружного стакана при непрерывной разливке стали является широко распространенным явлением и приводит к нарушению стабильности процесса литья, что обусловлено

возникновением волн и всплесков на зеркале металла в кристаллизаторе, уменьшением удельного расхода стали, поступающей в кристаллизатор, увеличением вероятности прорыва твердой корочки заготовки под кристаллизатором и т. п. [1-3]. Принято считать, что основной причиной зарастания погружного стакана может быть отложение на его внутренней поверхности шлаковых частиц, сложных экзогенных и эндогенных включений, продуктов раскисления и вторичного окисления расплава, а также капель стали.

К числу негативных процессов, вызываемых уменьшением сечений выходных отверстий погружного стакана вследствие их зарастания, относятся следующие: асимметрия циркуляционных потоков стали в жидкой ванне кристаллизатора, различные скорости поверхностных потоков по сечению кристаллизатора, колебания уровня, образование вихрей и неустойчивость межфазного слоя на границе контакта жидкой стали и шлакообразующей смеси. Все эти явления могут способствовать вовлечению шлакообразующей смеси в жидкую сталь и удерживанию включений на фронте кристаллизации заготовки [4-6]. Различная скорость подповерхностных циркуляционных потоков локальных объемов металла в кристаллизаторе приводит к аномальному снижению и неравномерному распределению температур, различиям в толщине жидкого слоя шлакообразующей смеси (ШОС) по периметру жидкого мениска, а также серьезным нарушениям процесса кристаллизации стали в ее начальный период.

Как показывает практика, снижение скорости зарастания погружного стакана удается достигнуть при вдувании аргона через стопор-моноблок непосредственно в поток металла, который вытекает из промежуточного ковша в кристаллизатор [7-9]. Между тем, для достижения положительного эффекта необходимо выбирать рациональный расход вдуваемого аргона, который бы препятствовал развитию волновых процессов на зеркале металла в кристаллизаторе, проникновению пузырьков аргона вглубь жидкой ванны, оголению зеркала металла в кристаллизаторе и т. п.

Целью данной работы является исследование влияния параметров процесса вдувания аргона через стопор-моноблок на зарастание внутренней полости погружного стакана и характер циркуляционных потоков в жидкой ванне кристаллизатора.

Перетекание стали в кристаллизатор из промежуточного ковша происходит в виде компактной струи, формируемой в стакане-дозаторе, установленном в его днище. При этом регулирование расхода стали при стопорной разливке осуществляется посредством изменения положения головки стопора-моноблока относительно стакана-дозатора. В процессе движения струи ее сечение уменьшается, что обусловлено воздействием сил гравитации. Уменьшение объема струи является основной причиной возникновения разрежения внутри погружного стакана, что в свою очередь приводит к подосу воздуха через стык между стаканом-дозатором и погружным стаканом [10]. Следствием этого является взаимодействие растворенных в стали элементов и, в первую очередь, алюминия с кислородом воздуха с образованием оксида алюминия (Al_2O_3), мелкие частички которого оседают на внутренней поверхности погружного стакана. В практике непрерывной разливки стали это явление принято считать основной причиной зарастания внутренней полости и выходных отверстий погружного стакана.

Как правило, для снижения скорости зарастания стремятся повысить герметичность стыка погружного стакана и стакана-дозатора, а также осуществляют регламентируемое вдувание аргона через головку стопора-моноблока непосредственно в струю стали [11, 12]. При этом удается снизить подсос воздуха в стык между стаканом-дозатором и погружным стаканом за счет наполнения струи пузырьками аргона и увеличения ее сечения по мере движения вниз.

В зависимости от уровня налива металла в промежуточном ковше и, как следствие, его удельного расхода, конфигурации и сечения выпускных отверстий и наличия или отсутствия продувки аргоном в канале погружного стакана возможно развитие принципиально различных вариантов течения металла (рис. 1).

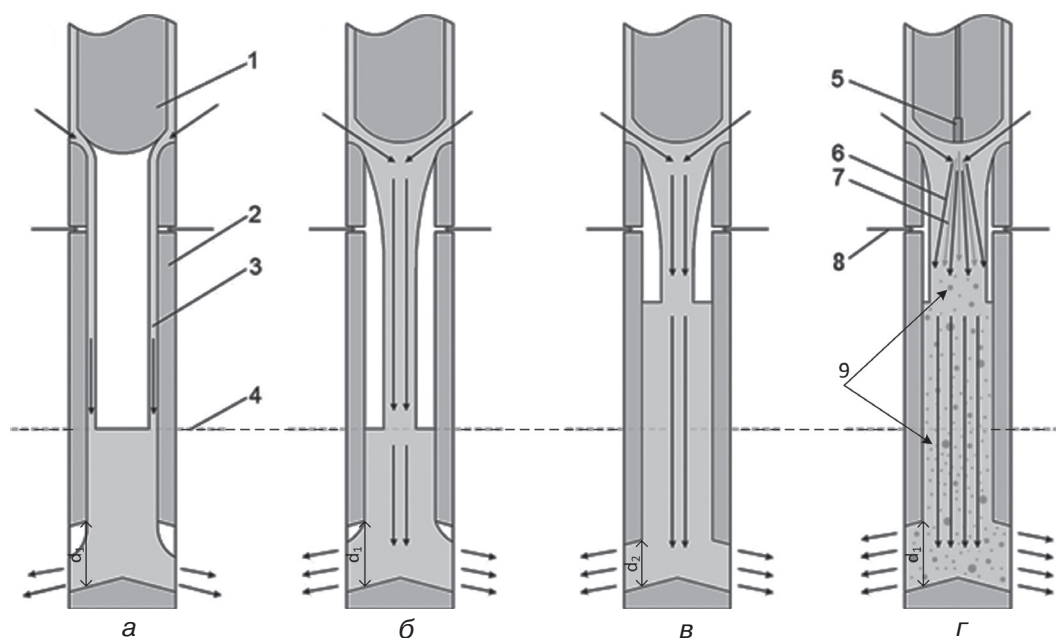


Рис. 1. Схема движение струи металла из промежуточного ковша в кристаллизатор слябовой МНЛЗ при недостаточном уровне налива металла в промежуточном ковше (а), нормальном протекании процесса разливки (б), уменьшении диаметра выпускных отверстий погружного стакана либо в случае их зарастания отложениями (в), вдувании аргона в полость погружного стакана (г): 1 – стопор; 2 – погружной стакан; 3 – металл; 4 – уровень металла в кристаллизаторе; 5 – канал для вдувания аргона; 6 – направление движения расплава; 7 – направление движения аргона; 8 – подсос воздуха в стык стакан-дозатора и погружного стакана; 9 – пузырьки аргона

Рассматривая характер истечения металла в погружном стакане без вдувания аргона, можно выделить следующие характерные варианты. Так, при замене пустого сталеразливочного ковша на полный уровень налива металла в промежуточном ковше, как правило, падает, что на некоторое время снижает удельный расход стали и приводит к течению металла непосредственно по стенкам погружного стакана (рис. 1, а). При этом в центральной части погружного стакана образуется пустота вплоть до уровня налива металла в кристаллизаторе. Поэтому можно предположить, что вдувание аргона в этом случае не может оказать серьезного влияния на защиту стали от вторичного окисления.

Между тем в практике разливки стали перелив стали из промежуточного ковша в кристаллизатор стремятся организовать компактной струей в погружном стакане (рис. 1, б и в). Важным представляется тот факт, что расположение уровня стали в погружном стакане может изменяться в зависимости от сечения выпускных отверстий. Фактически это означает, что при уменьшении сечения или по мере зарастания выпускных отверстий ($d_1 > d_2$) уровень стали в погружном стакане будет подниматься вверх и поток металла занимает практически всю их площадь (рис. 1, в). В целом повышение уровня металла в погружном стакане представляется достаточно положительным эффектом, поскольку образовавшийся столб стали будет в определенной мере препятствовать образованию отложений на внутренней поверхности погружного стакана.

При вдувании аргона через стопор-моноблок (рис. 2) во внутреннюю полость погружного стакана характер движения струи внутри погружного стакана изменяется (рис. 1, г) и, как следствие, может трансформироваться картина движения и распределения циркуляционных потоков в кристаллизаторе. Как показали визуальные наблюдения, выполненные на физической модели, пузырьки газа располагаются

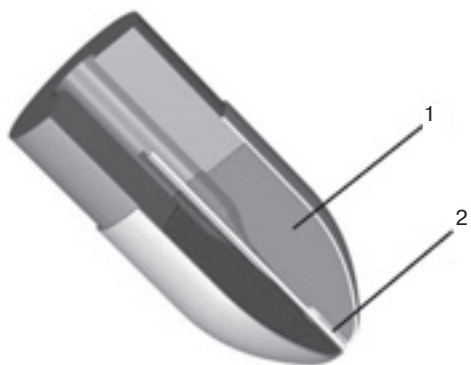


Рис. 2. Общий вид головки стопора-моноблока с каналом для инжектирования аргона в полость погружного стакана: 1 – головка стопора-моноблока; 2 – канал для подачи аргона

аргона позволяет увеличить наполненность струи и она занимает все поперечное сечение канала.

Между тем такая динамика движения пузырьков газа может осуществляться только при определенных его расходах. По мере увеличения расхода в движущейся струе наблюдается появление брызг, которые достигают внутренней поверхности погружного стакана.

Другим фактором, лимитирующим расход вдуваемого газа, является возможное оголение поверхности зеркала металла в кристаллизаторе, которое будет способствовать вторичному окислению стали.

С использованием физической модели (масштаб 1:2) в лабораторных условиях было осуществлено исследование поведения жидкой ванны кристаллизатора при попадании в нее пузырьков аргона [14, 15]. В качестве жидкости, имитирующей жидкую сталь, в экспериментальных исследованиях использовалась вода. На поверхность воды наливался тонкий (4-7 мм) слой трансформаторного масла. Вязкость масла варьировалась путем его подогрева или охлаждения, что позволило имитировать взаимное поведение жидкой стали и расплава ШОС. В процессе исследований расход вдуваемого газа варьировали в диапазоне 2-15 л/мин. При моделировании использовались конструкции погружных стаканов с «ловушкой» (плоское дно погружного стакана) и рассекателем (копьеобразное дно погружного стакана). Условия гидродинамического подобия были соблюдены за счет обеспечения критериев Фруда и гомохронности для модели и натурального образца.

Установлено, что при вдувании аргона через стопор-моноблок пузырьки газа преимущественно всплывают вверх к зеркалу металла в кристаллизаторе. При этом наблюдается интенсивное перемешивание пузырьков газа со слоем масла, имитирующим жидкую ШОС. Говоря об общем характере распределения пузырьков газа в жидкой ванне кристаллизатора применительно к разливке стали, например, через погружной стакан с «ловушкой» (рис. 3, а), следует отметить, что струя из выходного отверстия погружного стакана движется преимущественно в направлении узкой стенки с постепенным всплытием пузырьков в зону мениска. Количественно большая часть пузырьков газа всплывает в зоне, прилегающей к внешней поверхности погружного стакана, а меньшая часть продолжает движение в циркуляционных потоках расплава. Отмечено также, что движение циркуляционных потоков при инжектировании аргона претерпевает заметные изменения в части увеличения интенсивности движения верхнего циркуляционного потока.

Распространение циркуляционных потоков и распределение пузырьков аргона

преимущественно в осевой области струи [13], что несколько увеличивает ее диаметр. В реальных условиях после попадания пузырьков в струю стали происходит увеличение их размеров. Причинами этого является нагрев пузырьков до температуры стали, а также уменьшение давления внутри струи в сравнении с давлением газа при выходе его из отверстия стопора. Объем вдуваемого газа в струе стали в зависимости от температуры расплава может увеличиваться в несколько раз. Соответственно увеличение объема газа в струе компенсирует ее сужение под действием гравитационных сил, обеспечивая дополнительную устойчивость и стабильность. Несмотря на разливку через отверстия равные по размерам, представленным на рис. 1, б, вдувание

Получение и обработка расплавов

при использовании погружного стакана с «рассекателем» (рис. 3, б) имеет значительные отличия от случая, рассмотренного выше. Так, основная часть пузырьков газа перемещается преимущественно с циркуляционным потоком, который движется к узкой стенке кристаллизатора. Их всплытие происходит в зоне разделения жидкостного потока на два циркуляционных у узкой стенки кристаллизатора. Таким образом, в жидкую ванну кристаллизатора могут попадать только остаточные пузырьки аргона, которые были увлечены нисходящим циркуляционным потоком. Следует также отметить, что при сравнении картины движения циркуляционных потоков внутри жидкой ванны кристаллизатора с использованием погружного стакана с «рассекателем» при инжестировании аргона через стопор-моноблок и без его инжестирования существенных различий обнаружено не было.

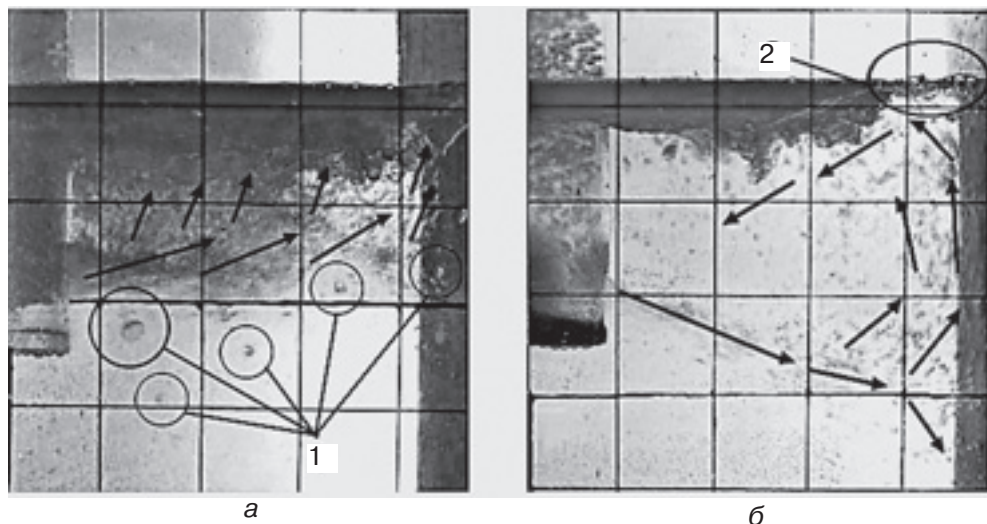


Рис. 3. Характер движения циркуляционных потоков жидкости с пузырьками аргона (направление движения обозначено стрелками) в верхней части кристаллизатора при использовании погружного стакана с «ловушкой» (а) и «рассекателем» (б): 1 – капли масла, вовлеченные вглубь жидкой ванны циркуляционными потоками; 2 – участок оголения зеркала жидкости

Сравнительные количественные оценки распределения количества жидкости в восходящих и нисходящих потоках показывают, что при вдувании газа через стопор-моноблок доля восходящего потока возрастает приблизительно в 1,2-1,3 раза для погружного стакана с «ловушкой». При вдувании газа через стакан с «рассекателем» серьезного изменения соотношения между объемом восходящего и нисходящего потока не наблюдалось.

Также в результате экспериментов выполнена количественная оценка доли газа, которая вовлекается вглубь жидкой ванны непрерывнолитой заготовки. Установлено, что вне зависимости от конструкции погружного стакана вглубь жидкой ванны вовлекается порядка 0,5-0,8 % от общего расхода вдуваемого газа. При этом большинство пузырьков газа имеет небольшие размеры (0,9-1,5 мм). Кроме того, можно предположить, что при вдувании аргона в жидкую сталь, имеющую большую плотность, количество вовлекаемых пузырьков будет намного меньше.

Дополнительно установлено, что при вдувании относительно большого количества газа (8-10 л/мин и более) на поверхности зеркала жидкости в кристаллизаторе в месте выхода аргона наблюдается вспучивание. При определенных условиях это явление может способствовать развитию стоячих волн и всплесков на поверхности металла в кристаллизаторе.

В целом выполненные исследования позволяют утверждать, что для снижения интенсивности зарастания погружного стакана наряду с другими мероприятиями

Получение и обработка расплавов

представляется целесообразным применять продувку инертным газом через стопор-моноблок. Однако при этом следует иметь в виду, что при выборе величины удельного расхода газа имеют место основные ограничения, связанные с турбулизацией поверхности зеркала металла в кристаллизаторе и особенностями течения стали в погружном стакане.

На рис. 4 представлены результаты промышленной оценки степени зарастания внутренней полости погружных стаканов при различных расходах вдуваемого аргона. Промышленные эксперименты были выполнены на двухручьевой слябовой МНЛЗ при разливке низкокремнистой стали, которая, как известно, склонна к повышенному зарастанию. При этом в один ручей (сравнительный) аргон не вдувался, а в другой (опытный) его подавали с фиксированным расходом: 5, 8 и 12 л/мин. Длительность разливки через погружной стакан составляла 140-150 мин.

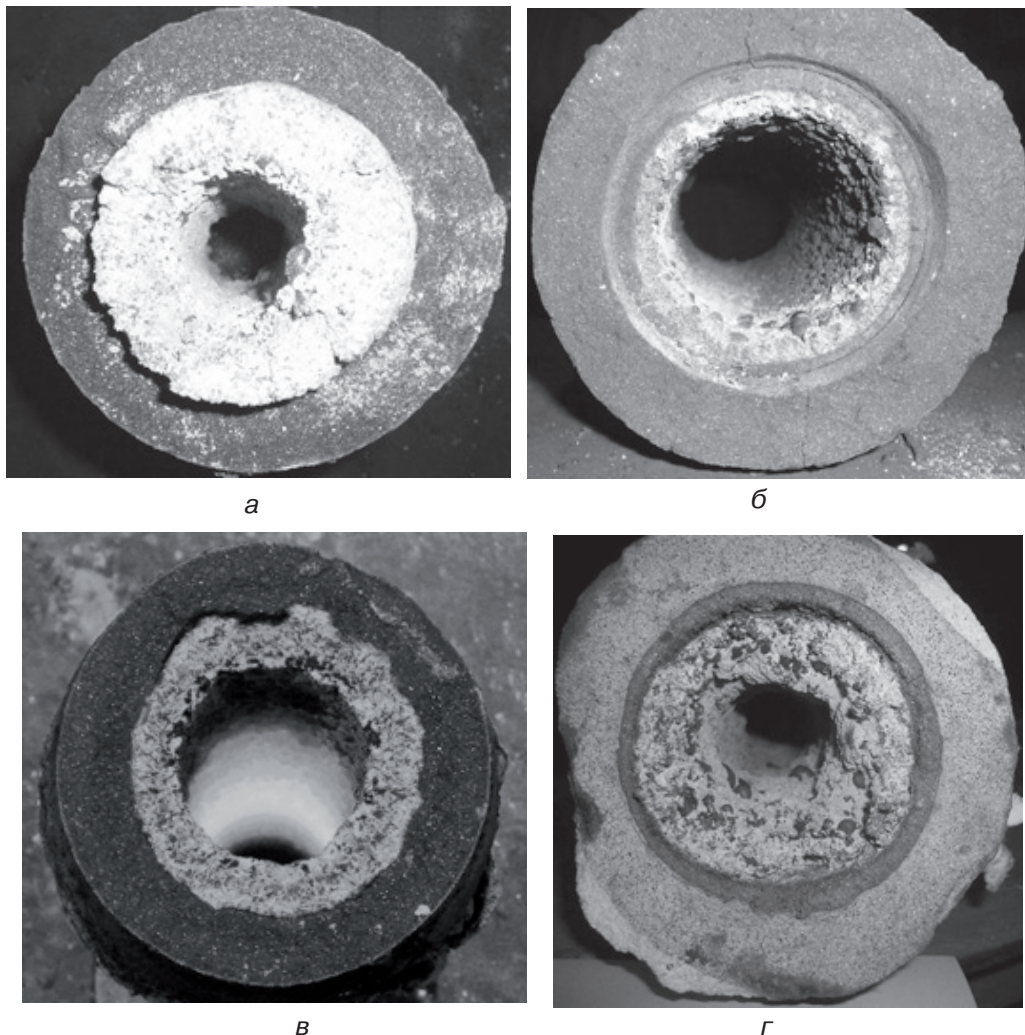


Рис. 4. Степень зарастание внутренней полости погружного стакана без вдувания аргона (а) и с вдуванием аргона с расходом 5 л/мин (б), 8 л/мин (в) и 12 л/мин (г)

Как видно на рис. 4, толщина слоя отложений оказалась разной. Наиболее толстый слой отложений характерен для погружного стакана, в который аргон не вдувался. При этом химический состав отобранных образцов отложений на 95-98 % состоял из мелких частиц глинозема. Для остальных погружных стаканов (с продувкой аргоном) в отобранных образцах отложений содержалось до 80-90 % мас. железа. Фракционный состав металлической фазы в отложениях классифицировали по размерам

частиц как крупные (7-8), средние (5-6) и мелкие (до 2 мм). Доля крупных металлических частиц, входящих в отложения, составляла около 45-50 % от их общей массы.

Поверхность таких металлических частиц имела характерный ноздреватый рельеф. Изучение геометрической формы металлических частиц позволило установить, что возникли они не в результате кристаллизации металла на стенках стакана, а вследствие слияния твердых частиц металла, которые каким-то образом образуются в потоке расплава во внутренней полости погружного стакана. Частицы металла обычно располагались на оксидном отложении (глинозем), которое в большом количестве присутствовало совместно с металлической фазой.

В целом это позволяет предположить, что крупные частицы являются результатом слипания более мелких частиц, которые образуются в результате разбрызгивания при движении струи внутри погружного стакана. По мнению авторов, более сильное зарастание внутренней полости погружного стакана при вдувании аргона с расходом 12 л/мин следует связывать именно с разбрызгиванием струи вследствие выхода части пузырьков на ее поверхность. При этом в реальных условиях капли стали, прилипшие к внутренней поверхности погружного стакана, могут стать катализаторами интенсивного зарастания полости погружного стакана, вокруг которых будет происходить накопление неметаллических частиц.

Таким образом, выполненные исследования подтверждают, что вдувание аргона через стопор-моноблок позволяет при определенных условиях уменьшить интенсивность зарастания внутренней полости погружного стакана различного рода отложениями. При вдувании защитного газа (аргона) через стопор-моноблок струя стали, которая формируется в полости стакана-дозатора, имеет традиционную для свободно вытекающей струи геометрическую форму, а инжектируемый газ располагается, главным образом, во внутренних зонах струи и движется со скоростью жидкостного потока, не нарушая его естественной конфигурации. Вдувание аргона обеспечивает снижение интенсивности процесса вторичного окисления внутри погружного стакана и уменьшает количество отложений глинозема (Al_2O_3). Наибольший положительный эффект достигается при расходе инжектируемого аргона на уровне 5-8 л/мин. При большем расходе инжектируемого аргона наблюдается увеличение скорости зарастания внутренней полости погружного стакана, что следует связывать с разбрызгиванием струи и интенсивным налипанием капель стали на его внутреннюю поверхность.



Список литературы

1. Смирнов А. Н. Непрерывная разливка стали: Учебник / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
2. Kamal M., Sahai Y. A simple innovation in continuous casting mould technology for fluid flow and surface standing waves control // ISIJ International, 46. – 2006. – no. 12. – P. 182-310.
3. Casting Volume / Ed. A. W. Cramb. – Pittsburgh, PA: The AISE Steel Foundation, 2003. – 886 p.
4. Effect of nozzle clogging on surface flow and vortex formation / SongMook Cho, B. G. Thomas, SungKwang Kim et al. // Iron and Steel Technology. – 2012. – July. – P. 85-95.
5. Examination of nozzle clogging in continuous casting / B. Harcsik, P. Tardy, G. Karoly // Revue de Metallurgie. – 2012. –no. 309. – P. 177-186.
6. Novel Submerged Entry Nozzle design for gas loaded flows / G. Hackl, G. Nitzl, D. Warrington, A. Westendorp, R. van den Bogert // Proceedings of the 6th European Conference on Continuous Casting. – Dusseldorf, 2011.
7. Benefits stopper rod argon injection at the Ruukki production Raahе Works / V. Liisananti, J. Pirinen, H. Nevala // Proceedings of the 6th European Conference on Continuous Casting. – Riccione, 2008.
8. О влиянии инжектирования через стопормоноблок / К. Оки, К. Койдэ, Е. Ито и др. – Тайкабуцу, 1975. – Т. 27. – № 203 (3). – С. 119-121.

9. Использование аргона в промежуточном ковше / Р. С. Тахаутдинов, С. Н. Ушаков, С. В. Горосткин, Т. С. Масальский, М. А. Богатов, В. Л. Алексеев // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2007. – № 2. – С. 25-27.
10. Смирнов А. Н. Совершенствование защиты стали от вторичного окисления при разливке на МНЛЗ / А. Н. Смирнов, А. П. Фоменко, И. А. Орлов // Сталь. – 1998. – №11. – С. 19-22.
11. Смирнов А. Н. Причины зарастания погружных стаканов и методы повышения их эксплуатационной стойкости при разливке стали на МНЛЗ / А. Н. Смирнов, И. А. Орлов, В. Г. Ордин // Процессы литья. – 2000. – № 2. – С. 9-16.
12. Смирнов А. Н. Зарастание погружных стаканов слябовой МНЛЗ / А. Н. Смирнов, В. Г. Ефимова, А. П. Верзилов, Е. Н. Максаев // Сталь. – 2014. – № 11. – С. 14-18.
13. Смирнов А. Н. Процессы непрерывной разливки: Монография / А. Н. Смирнов, В. Л. Пилюшенко, А. А. Минаев, С. В. Момот. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
14. Смирнов А. Н. Совершенствование методов моделирования и оптимизация параметров систем дозирования стали в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ / А. Н. Смирнов, А. В. Кравченко, А. П. Верзилов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Металургія. – Донецьк: 2011. – Вип. 13 (194). – С. 98-107.
15. Смирнов А. Н. Моделирование процессов поведения жидкой стали в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ / А. Н. Смирнов, А. В. Кравченко, А. П. Верзилов, К. Е. Писмарев // Процессы литья. – 2010. – № 5. – С. 40-47.



References

1. Smirnov A. N., Kuberskiy S. V., Shtepan E. V. (2011) *Nepreryivnaya razlivka stali: Uchebnik [Continuous Casting of Steel: A Textbook]*. Donetsk: DonNTU, 482 p. [in Russian].
2. Kamal M.; Sahai Y. A simple innovation in continuous casting mould technology for fluid flow and surface standing waves control // *ISIJ International*, 46 (2006). – No. 12, – P.1823-1832. [in English].
3. Cramb A. W. (ed.) (2003) *Casting Volume*. Pittsburgh, PA: The AISE Steel Foundation, 886 p. [in English].
4. Song-Mook Cho, B. G. Thomas, Sung-Kwang Kim et al. (2012) Effect of nozzle clogging on surface flow and vortex formation. *Iron and Steel Technology*, pp. 85-95. [in English].
5. Harcsik B., Tardy P., Karoly G. (2012) Examination of nozzle clogging in continuous casting. *Revue de Metallurgie*, no. 309, pp. 177-186. [in English].
6. Hackl G., Nitzl G., Warrington D., Westendorp A., van den Bogert R. (2011) Novel Submerged Entry Nozzle design for gas loaded flows. *Proceedings of the 6th European Conference on Continuous Casting*. Dusseldorf. [in English].
7. Liisananti V., Pirinen J., Nevala H. (2008) Benefits stopper rod argon injection at the Ruukki production Raahe Works. *Proceedings of the 6th European Conference on Continuous Casting*. Riccione. [in English].
8. Oki K., Koyde K., Ito E. et al. (1975) O vliyaniy inzhektirovaniya cherez stopor-monoblok [*On the effect of injection through a stop-block unit*]. *Tay-kabutsu*, T. 27, no. 203(3), pp. 119-121. [in Russian].
9. Tahautdinov R. S., Ushakov S. N., Gorostkin S. V., Masalskiy T. S., Bogatov M. A., Alekseev V. L. (2007) Ispolzovanie argona v promezhutochnom kovshe [*The use of argon in the intermediate ladle*]. *Vestnik MGТУ im. G. I. Nosova*, no. 2, pp. 25-27. [in Russian].
10. Smirnov A. N., Fomenko A. P., Orlov I. A. (1998) Sovershenstvovanie zashchity stali ot vtorichnogo okisleniya pri razlivke na MNLZ [*Improvement of steel protection from secondary oxidation during casting on CCM*]. *Stal*, no. 11, pp. 19-22. [in Russian].
11. Smirnov A. N., Orlov I. A., Ordin V. G. (2000) Prichiny zarastaniya pogrurnykh stakanov i metody povysheniya ikh ekspluatatsionnoy stoykosti pri razlivke stali na MNLZ [*Causes of overgrown immersion glasses and methods for improving their operational resistance in casting steel on CCM*]. *Protsessy litya*, no. 2, pp. 9-16. [in Russian].
12. Smirnov A. N., Efimova V.G., Verzilov A.P., Maksaev E. N. (2014) Zarastanie pogrurnykh stakanov slyabovoy MNLZ [*The growth of submerged cups of slab CCM*]. *Stal*, no. 11, pp. 14-18. [in Russian].

13. Smirnov A. N., Pilyushenko V. L., Minaev A. A., Momot S. V. (2002) Protsessy nepreryvnoy razlivki: Monografiya [*Continuous casting processes: Monograph*]. Donetsk: DonNTU, 536 p. [in Russian].
14. Smirnov A. N., Kravchenko A. V., Verzilov A. P. (2011) Sovershenstvovanie metodov modelirovaniya i optimizatsiya parametrov sistem dozirovaniya stali v kristallizatore slyabovoy MNLZ [*Improvement of modeling methods and optimization of the parameters of steel dosage systems in a mold of a CCM*]. Naukovi pratsi DonNTU. Seriya: Metalurgiya. Donetsk, vol. 13 (194). pp. 98-107. [in Russian].
15. Smirnov A. N., Kravchenko A. V., Verzilov A.P., Pismarev K. E. (2010) Modelirovanie rotsessov povedeniya zhidkoy stali v kristallizatore slyabovoy MNLZ [*Modeling of the behavior of molten steel in the mold of a CCM*]. Protsessy litya, no. 5, pp. 40-47. [in Russian].

Поступила 06.06.2017

Вниманию авторов!

Статьи, поступающие в редакцию, должны иметь название статьи, сведения про авторов (ФИО, научная степень, должность, место работы, e-mail), аннотации, ключевые слова на русском, украинском и английском языках, а также список литературы на английском языке, согласно международным требованиям. Объем статьи — не более **10 стр.**, рисунков — не более **5**.

Статьи подаются как на бумажном, так и электронном носителе. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов — формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.